



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107475527 A

(43)申请公布日 2017.12.15

(21)申请号 201710625975.7

(22)申请日 2017.07.27

(71)申请人 洛阳双瑞特种装备有限公司

地址 471000 河南省洛阳市高新区滨河北路88号

(72)发明人 张春林 王新鹏 任书旺 宁天信  
陈帅超

(74)专利代理机构 洛阳公信知识产权事务所  
(普通合伙) 41120

代理人 魏新培

(51)Int.Cl.

G22B 9/18(2006.01)

G23C 24/10(2006.01)

G21D 7/13(2006.01)

权利要求书1页 说明书5页

(54)发明名称

一种高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺

(57)摘要

本发明涉及一种高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺,首先冶炼自耗电极,其次,采用电渣重熔工艺将自耗电极冶炼成高Mo奥氏体不锈钢钢锭;将自耗电极预热至500-600℃,保温5-6小时;选用渣料,对渣料进行烘烤,烘烤温度为800℃,烘烤时间为8-10小时;采用石墨电极引弧造渣;将自耗电极移至液态渣池内,在大气环境下,开始电渣重熔;然后,钢锭表面打磨清理后,在工件表面均匀喷涂0.5mm厚耐高温抗氧化涂料;最后,钢锭热加工成型,钢锭热锻开坯温度范围为950℃-1250℃。本发明降低了高Mo奥氏体不锈钢的热加工成型难度,将一次变形量提高至10%以上,提高生产效率和成品率,节约能源。

1. 一种高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺,其特征在于:包括以下步骤:

(一)通过中频感应炉初炼和氩氧脱碳炉精炼工艺冶炼高Mo奥氏体不锈钢电极,即自耗电电极;自耗电电极的直径 $d$ 与钢锭的直径 $D$ 的比值为0.7-0.8;

(二)采用电渣重熔工艺将自耗电电极冶炼成高Mo奥氏体不锈钢钢锭,包括以下步骤:

(1)将自耗电电极表面的氧化皮清理干净,并将其焊接在假电极上,送入井式电阻加热炉内,自耗电电极预热至500-600℃,保温5-6小时;

(2)选用渣料成分和各成分的质量百分比为 $\text{CaF}_2$  50%~60%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15%~25%,  $\text{CaO}$  10%~20%,  $\text{MgO}$  3%~5%;对选择的渣料进行烘烤,烘烤温度为800℃,烘烤时间为8-10小时;

(3)采用石墨电极引弧造渣,将烘烤好的渣系按照 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的顺序加入到结晶器中,将渣料熔化成液态,液态渣温度控制在1650-1700℃;

(4)将自耗电电极移至液态渣池内,在大气环境下,开始电渣重熔,电渣锭的直径用 $D$ 表示,根据钢锭直径 $D$ 的大小选择相应的电极熔化速度 $V$ ,其中, $V=(0.6-0.7) \times D$ ,电渣锭直径 $D$ 的单位为mm,电极熔化速度 $V$ 的单位为kg/h;

(5)电极熔化完毕后,钢锭在结晶器内缓慢冷却40-60分钟,保证液态金属和熔渣凝固充分,钢锭脱模后空冷至室温,清除钢锭表面肉眼看的见的缺陷;

(三)钢锭表面喷涂

钢锭表面打磨清理后,在工件表面均匀喷涂0.5mm厚耐高温抗氧化涂料,该涂料的化学成分及重量百分比为 $\text{SiO}_2$ :65-70%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :10-20%;  $\text{MgO}$ :2-7%;  $\text{ZrO}_2$ :3-5%;  $\text{B}_2\text{O}_3$ :1-5%;  $\text{CaO}$ :2-4%;  $\text{Na}_2\text{O}$ :4-9%;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ :3-10%;

(四)钢锭热加工成型

将喷涂耐高温抗氧化涂料的钢锭装入天然气加热炉中加热到1170-1250℃,保温4-5小时后快速出炉,在锻锤或压力机上进行热加工成型,热锻的温度范围为950℃-1250℃;热锻经过墩粗和拔长,锻造至所需尺寸,其中,墩粗比 $R_1 \geq 1.5$ ,拔长比 $R_2 \geq 4$ ,总锻造比 $R \geq 5$ ;然后坯料快速水冷至室温,减少析出相数量;其中墩粗比 $R_1$ 为墩粗前坯料的高度与墩粗后坯料的高度比值,拔长比 $R_2$ 为拔长前坯料的截面积与拔长后坯料的截面积比值,总锻造 $R = R_1 + R_2 - 1$ 。

2. 如权利要求1所述高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺,其特征在于:

所述热锻开坯温度范围为1050-1200℃。

3. 如权利要求1所述高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺,其特征在于:所述肉眼看的见的缺陷为可见的裂纹、夹渣。

4. 如权利要求1所述Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺,其特征在于:渣料熔化过程中向液态熔渣中加入铝对渣进行脱氧。

## 一种高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种成型工艺,具体的说是一种高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺。

### 背景技术

[0002] 奥氏体不锈钢,是指在常温下具有奥氏体组织的不锈钢。在造纸、海水淡化、烟气脱硫、化工废气处理工业中,通过提高奥氏体不锈钢中钼(Mo)的含量,可以改善其在氯化物环境、还原性酸中的耐点蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀性能,提高装置的可靠性。其中,高Mo奥氏体不锈钢的Mo含量高达4-8%,较高的Mo含量导致不锈钢的热加工性能严重恶化,成品率低,一定程度上限制了其应用。

[0003] 高Mo奥氏体不锈钢在加热过程中,钢锭中Mo在晶界处偏析,晶界处的Mo在高温加热过程中发生氧化导致沿晶界向材料内部的氧化裂纹;Mo的氧化物在高温下易挥发,造成钢表面和晶界过度氧化,形成表面麻坑和沿晶界裂纹,导致热加工性能变差。温度越高Mo的扩散越快,Mo扩散至氧化膜与基体交界处与O结合形成Mo的氧化物,Mo的氧化物易挥发导致氧化层破坏,加速氧化进行。钢锭中晶界处偏析的Mo更易于发生扩散,导致晶界氧化。大气中的氧与钢锭发生氧化,氧化速度随着温度的升高而增加,在温度低于1150℃时,具有较高的抗氧化能力;当温度高于1150℃时,氧化速度急剧增加,热加工变形过程中会出现开裂,导致锻件报废。而高Mo奥氏体不锈钢热加工成型的变形抗力随着温度的降低而增大。

[0004] 因此,目前高Mo奥氏体不锈钢的热加工成型工艺为:将钢锭加热至950-1150℃,采用自由锻锤或者压力机将钢锭变形至产品形状。专利“CN 102021500 A一种新型超级奥氏体6Mo型不锈钢”中高Mo奥氏体不锈钢的锻造成型温度为950-1150℃,轧制成型温度为1100-1150℃。该工艺的优点为:可以有效避免钢锭的加热氧化,一定程度上解决了高Mo奥氏体不锈钢的热加工成型问题。该工艺的缺点为:①钢锭在950-1150℃温度范围内热加工变形时,材料的变形抗力大,成型难度增加,一次变形量小于5%,生产效率低;②高Mo奥氏体不锈钢在热加工成型过程中需要多次加热,加热次数高达8-10次,每次加热钢坯表面都会产生氧化铁皮而造成钢的损耗,损耗量高达5%左右,造成很大的材料损耗和能源浪费;③热加工成型工艺温度范围窄,对设备的要求高,实际生产过程中,难以控制。

### 发明内容

[0005] 本发明目的是为解决上述技术问题的不足,提供一种高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺。

[0006] 一种高Mo奥氏体不锈钢高效热成型工艺,包括以下步骤:

(一)通过中频感应炉初炼和氩氧脱碳(AOD)炉精炼工艺冶炼高Mo奥氏体不锈钢电极,即自耗电极;自耗电极的直径d与钢锭的直径D的比值为0.7-0.8;

(二)采用电渣重熔工艺将自耗电极冶炼成高Mo奥氏体不锈钢钢锭,包括以下步骤:

(1)将自耗电极表面的氧化皮清理干净,并将其焊接在假电极上,送入井式电阻加热炉内,自耗电极预热至500-600℃,保温5-6小时,去除自耗电极表面的水分;

(2) 选用渣料组成成分和各成分的质量百分比为 $\text{CaF}_2$  50%~60%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15%~25%,  $\text{CaO}$  10%~20%,  $\text{MgO}$  3%~5%, 对渣料进行烘烤, 烘烤温度为 $800^\circ\text{C}$ , 烘烤时间为8~10小时;

(3) 采用石墨电极引弧造渣, 将烘烤好的渣系按照 $\text{CaF}_2$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的顺序加入到结晶器中, 将渣料熔化成液态, 液态渣温度控制在 $1650\text{--}1700^\circ\text{C}$ ; 渣料熔化过程中向液态熔渣中加入Al对渣进行脱氧。

[0007] (4) 将自耗电极移至液态渣池内, 在大气环境下, 开始电渣重熔, 电渣锭的直径用D表示, 根据钢锭直径D的大小选择相应的电极熔化速度V, 其中,  $V = (0.6\text{--}0.7) \times D$ , 电渣锭直径D的单位为mm, 电极熔化速度V的单位为kg/h;

(5) 电极熔化完毕后, 钢锭在结晶器内缓慢冷却40~60分钟, 保证液态金属和熔渣凝固充分, 钢锭脱模后空冷至室温, 清除钢锭表面肉眼可见的裂纹、夹渣的缺陷;

### (三) 钢锭表面喷涂

钢锭表面打磨清理后, 在工件表面均匀喷涂0.5mm厚耐高温防氧化涂料, 该涂料的化学成分及重量百分比为 $\text{SiO}_2$ :65~70%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ :10~20%;  $\text{MgO}$ :2~7%;  $\text{ZrO}_2$ :3~5%;  $\text{B}_2\text{O}_3$ :1~5%;  $\text{CaO}$ :2~4%;  $\text{Na}_2\text{O}$ :4~9%;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ :3~10%; 该涂料具有较好的分散性、耐高温性、流动性, 并且具有一定的粘结力; 加热过程中涂层经烧结、软化、半熔融甚至呈熔融态的过程, 在金属表面形成致密的粘态玻璃薄膜, 薄膜能够完全隔绝金属与外界氧化性气氛的接触, 阻止钢锭高温氧化;

### (四) 钢锭热加工成型

当锻造加热温度大于 $1250^\circ\text{C}$ 时, 钢锭抗剪变形能力较弱, 容易产生表面和心部裂纹, 当锻造温度低于 $950^\circ\text{C}$ 时, 析出相快速析出, 变形抗力急剧增大, 钢锭变形性能急剧降低; 因此, 为保证钢锭具有良好的成型性能, 较低的变形抗力, 保证锻坯具有良好的表面、心部质量, 本发明的钢锭热锻开坯温度范围为 $950^\circ\text{C}\text{--}1250^\circ\text{C}$ , 优选的热锻开坯温度范围为 $1050\text{--}1200^\circ\text{C}$ 。

[0008] 将喷涂耐高温防氧化涂料的钢锭装入天然气加热炉中加热到 $1170\text{--}1250^\circ\text{C}$ , 保温4~5小时后快速出炉, 在锻锤或压力机上进行热加工成型, 热锻的温度范围为 $950^\circ\text{C}\text{--}1250^\circ\text{C}$ ; 热锻经过墩粗和拔长, 锻造至所需尺寸, 其中, 墩粗比 $R_1 \geq 1.5$ , 拔长比 $R_2 \geq 4$ , 总锻造比 $R \geq 5$ ; 然后坯料快速水冷至室温, 减少析出相数量; 其中墩粗比 $R_1$ 为墩粗前坯料的高度与墩粗后坯料的高度比值, 拔长比 $R_2$ 为拔长前坯料的截面积与拔长后坯料的截面积比值, 总锻造 $R = R_1 + R_2 - 1$ 。

[0009] 有益效果是:

与现有技术相比, 本发明通过在高Mo奥氏体不锈钢钢锭的表面喷涂耐高温防氧化涂料, 阻止钢锭表面在高温下发生氧化反应, 降低晶界处的Mo在高温加热过程中发生氧化导致沿晶界向材料内部的氧化裂纹及表面氧化麻坑机率。将材料的热加工成型温度范围从 $950\text{--}1150^\circ\text{C}$ 提高到 $950\text{--}1250^\circ\text{C}$ , 降低了材料的热加工变形抗力, 将一次变形量提高至10%以上, 减少热加工火次, 避免锻造过程中钢锭表面及中心裂纹, 提高生产效率和成品率, 节约能源, 且提高了材料的高温延伸率。该材料在 $1150^\circ\text{C}$ 是变形抗力约为180Mpa, 延伸率约30%; 而在 $1250^\circ\text{C}$ 是变形抗力约为120Mpa, 延伸率约60%。提高变形温度材料的一次变形量可以增加一倍, 生产效率提高一倍以上, 成品率由原工艺的70%提高至95%以上。同时, 降低了材料的氧化损耗, 材料利用率可以提高至97%以上, 弥补高Mo奥氏体不锈钢在热加工性

能上的先天不足,成功生产出表面无裂纹、折叠,内部超声波探伤合格的高Mo奥氏体不锈钢锻件产品,该技术具有明显的经济效益。

### 具体实施方式

#### [0010] 实施例1

采用本发明进行00Cr24Ni17Mn5Mo4Nb高Mo奥氏体不锈钢热加工成型,包括下列步骤:

第一步、通过中频感应炉初炼、氩氧脱碳(AOD)炉精炼工艺冶炼高Mo奥氏体不锈钢自耗电极,自耗电极的直径为310mm,钢锭的直径为440mm,自耗电极的直径d与钢锭的直径D的比值为0.7;

第二步、采用电渣重熔工艺,将自耗电极冶炼成00Cr24Ni17Mn5Mo4Nb高Mo奥氏体不锈钢钢锭,其化学成份及重量百分比为:C:0.021;Si:0.43;Mn:5.32;S:0.005;P:0.017;Cr:24.12;Ni:17.03;Mo:4.35;Nb:0.06;N:0.521;余量为Fe。冶炼包括以下步骤:

(1)选用的渣料组元和重量百分比为:CaF<sub>2</sub>:60%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:20%,CaO:17%,MgO:3%,渣料为80kg,渣料烘烤温度为800℃,烘烤时间为9小时;

(2)将烘烤好的渣系按照CaF<sub>2</sub>、MgO、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的顺序加入到结晶器中,引弧造渣,化渣时间50分钟,渣料熔化过程中,向液态熔渣中加入Al对渣进行脱氧,Al的加入量为300克,保证渣料脱氧充分;

(3)将自耗电极移至液态渣池内,在大气环境下进行电渣重熔冶炼,电极熔化速度为320kg/h,在冶炼过程中均匀的加入Al进行脱氧,Al的加入量为3000克;

(4)冶炼结束后,钢锭在结晶器内保温60分钟,脱模后空冷至室温;

(5)清除钢锭表面肉眼可见的裂纹、夹渣等缺陷。

[0011] 第三步、在工件表面均匀喷涂0.5mm厚耐高温抗氧化涂料,该涂料的化学成份及重量百分比为:SiO<sub>2</sub>:66%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:12%、MgO:4%、ZrO<sub>2</sub>:4%、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:3%、CaO:3%、Na<sub>2</sub>O:4%、Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>:4%;

第四步、将钢锭装入天热气加热炉中,升温至1220±10℃,保温4.5小时后快速出炉,采用2000T油压机将钢锭墩粗至650mm高;墩粗比为:1.85,共锻造1火次;

第五步、将墩粗后的钢锭四方拔长、倒棱滚圆至Φ200mm圆棒,终锻温度大于1000℃,拔长比为:9,总锻造比为9.85;共锻造3火次,工件表面无裂纹、折叠等缺陷,按照NB/T47013.3-2015进行超声波探伤,心部质量达到I级要求;

第六步、将锻造完毕的圆棒表面喷涂耐高温抗氧化涂料后装入箱式电阻炉中,升温至1150±10℃,保温4小时使棒料微观组织中的析出相充分溶解,快速出炉水淬至室温,阻止析出相二次形成。

#### [0012] 实施例2

采用本发明进行00Cr20Ni18Mo6CuN高Mo奥氏体不锈钢工件热加工成型,包括下列步骤:

第一步、通过中频感应炉初炼、氩氧脱碳(AOD)炉精炼工艺冶炼高Mo奥氏体不锈钢自耗电极,自耗电极的直径为310mm,钢锭的直径为440mm,自耗电极的直径d与钢锭的直径D的比值为0.7;

第二步、采用电渣重熔工艺,将自耗电极冶炼成00Cr20Ni18Mo6CuN高Mo奥氏体不锈钢

钢锭,其化学成份及重量百分比为:C:0.012;Si:0.35;Mn:0.50;S:0.005;P:0.018;Cr:19.91;Ni:17.78;Mo:6.30;Cu:0.68;N:0.19;余量为Fe。冶炼包括以下步骤:

(1)选用的渣料组元和重量百分比为:CaF<sub>2</sub>:55%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:25%,CaO:15%,MgO:5%,渣料为80kg,渣料烘烤温度为800℃,烘烤时间为9小时;

(2)将烘烤好的渣系按照CaF<sub>2</sub>、MgO、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的顺序加入到结晶器中,引弧造渣,化渣时间50分钟,渣料熔化过程中,向液态熔渣中加入Al对渣进行脱氧,Al的加入量为250克,保证渣料脱氧充分;

(3)将自耗电极移至液态渣池内,在大气环境下进行电渣重熔冶炼,电极熔化速度为320kg/h,在冶炼过程中均匀的加入Al进行脱氧,Al的加入量为2000克;

(4)冶炼结束后,钢锭在结晶器内保温60分钟,脱模后空冷至室温;

(5)清除钢锭表面肉眼可见的裂纹、夹渣等缺陷。

[0013] 第三步、在工件表面均匀喷涂0.5mm厚耐高温抗氧化涂料,该涂料的化学成份及重量百分比为:SiO<sub>2</sub>:66%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:12%、MgO:4%、ZrO<sub>2</sub>:4%、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:3%、CaO:3%、Na<sub>2</sub>O:4%、Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>:4%;

第四步、将钢锭装入天热气加热炉中,升温至1200±10℃,保温5小时后快速出炉,采用2000T油压机将钢锭墩粗至550mm高;墩粗比为:2.1,共锻造1火次;

第五步、将墩粗后的钢锭四方拔长、倒棱滚圆至Φ220mm圆棒,终锻温度大于1000℃,拔长比为:9.1,总锻造比为10.2,共锻造3火次;工件表面无裂纹、折叠等缺陷,按照NB/T47013.3-2015进行超声波探伤,心部质量达到I级要求;

第六步、将锻造完毕的圆棒表面喷涂耐高温抗氧化涂料后装入箱式电阻炉中,升温至1150±10℃,保温2小时使棒料微观组织中的析出相充分溶解,快速出炉水淬至室温,阻止析出相二次形成。

[0014] 实施例3

采用本发明进行00Cr24Ni22Mo7Mn3CuN高Mo奥氏体不锈钢工件热加工成型,包括下列步骤:

第一步、通过中频感应炉初炼、氩氧脱碳(AOD)炉精炼工艺冶炼高Mo奥氏体不锈钢自耗电极,自耗电极的直径为310mm,钢锭的直径为440mm,自耗电极的直径d与钢锭的直径D的比值为0.7;

第二步、采用电渣重熔工艺,将自耗电极冶炼成00Cr24Ni22Mo7Mn3CuN高Mo奥氏体不锈钢钢锭,其化学成份及重量百分比为:C:0.010;Si:0.27;Mn:3.21;S:0.0023;P:0.012;Cr:24.15;Ni:22.12;Mo:7.23;Cu:0.52;N:0.51;余量为Fe。冶炼包括以下步骤:

(1)选用的渣料组元和重量百分比为:CaF<sub>2</sub>:58%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:20%,CaO:18%,MgO:4%,渣料为80kg,渣料烘烤温度为800℃,烘烤时间为9小时;

(2)将烘烤好的渣系按照CaF<sub>2</sub>、MgO、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的顺序加入到结晶器中,引弧造渣,化渣时间50分钟,渣料熔化过程中,向液态熔渣中加入Al对渣进行脱氧,Al的加入量为300克,保证渣料脱氧充分;

(3)将自耗电极移至液态渣池内,在大气环境下进行电渣重熔冶炼,电极熔化速度为320kg/h,在冶炼过程中均匀的加入Al进行脱氧,Al的加入量为3000克;

(4)冶炼结束后,钢锭在结晶器内保温60分钟,脱模后空冷至室温;

(5) 清除钢锭表面肉眼可见的裂纹、夹渣等缺陷。

[0015] 第三步、在工件表面均匀喷涂0.5mm厚耐高温抗氧化涂料,该涂料的化学成份及重量百分比为:SiO<sub>2</sub>:66%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:12%、MgO:4%、ZrO<sub>2</sub>:4%、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:3%、CaO:3%、Na<sub>2</sub>O:4%、Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>:4%;

第四步、将钢锭装入天热气加热炉中,升温至1220±10℃,保温5小时后快速出炉,采用2000T油压机将钢锭墩粗至600mm高;墩粗比为:1.7,共锻造1火次;

第五步、将墩粗后的钢锭四方拔长、倒棱滚圆至Φ250mm圆棒,终锻温度大于1000℃,拔长比为:6.5,总锻造比为7.2,共锻造2火次;工件表面无裂纹、折叠等缺陷,按照NB/T47013.3-2015进行超声波探伤,心部质量达到I级要求;

第六步、将锻造完毕的圆棒表面喷涂耐高温抗氧化涂料后装入箱式电阻炉中,升温至1150±10℃,保温4小时使棒料微观组织中的析出相充分溶解,快速出炉水淬至室温,阻止析出相二次形成。

[0016] 本发明利用上述制造方法,进行多次生产,均获得了良好效果,采用该成型方法进行高Mo奥氏体不锈钢的热成型,在进一步提高热加工成型温度的同时,有效阻止高Mo奥氏体不锈钢的高温氧化,提高生产效率,提高材料利用率、成品率,降低生产成本,该技术具有明显的经济效益,有利于高Mo奥氏体不锈钢的市场推广应用。